

SISTEM KEAMANAN BUKA PINTU OTOMATIS MENGGUNAKAN IDENTIFIKASI WAJAH BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

Ari Prasetyo¹, Asep Wasid²

^{1,2} Sistem Komputer,

Universitas Indonesia Membangun

¹Ariprasetyo.xap1@gmail.com, ²a.wasid64@gmail.com

ABSTRACT

In this modern era, security systems have become one of the most essential aspects of daily life, especially in home security. The increasing rate of crime, which continues to rise along with technological advancements, makes it necessary to implement reliable security systems to protect personal assets and privacy. To enhance home security more effectively, an Automatic Door Security System Using Face Recognition Based on an ESP32-CAM Microcontroller was developed. This system allows homeowners to feel safer without constant concern about their home's security. The system uses the ESP32-CAM microcontroller as its main controller, combined with a solenoid door lock module and a web browser interface. These components work together to detect and register faces that are either newly enrolled or already stored in the system. When a registered face is successfully recognized, the device displays a green notification and automatically unlocks the door through the solenoid lock mechanism. Additionally, the captured facial data is processed and stored by the ESP32-CAM for future recognition.

Keywords: ESP32-CAM, Solenoid Door Lock, Face Recognition, Web Browser

I. PENDAHULUAN

Pada zaman modern ini, sistem keamanan telah menjadi aspek krusial dalam kehidupan sehari-hari, termasuk untuk pengamanan rumah. Seiring dengan perkembangan teknologi, tingginya tingkat kriminalitas menuntut kita untuk melindungi aset dan privasi dengan lebih baik. Penerapan sistem keamanan yang andal diharapkan dapat memberikan rasa aman dan nyaman, sekaligus menekan angka kriminalitas, tindak kejahatan pencurian [1]. Namun, kunci konvensional sering kali menimbulkan masalah, mulai dari kelalaian meletakkan kunci, kehilangan, hingga kerusakan. Meskipun kunci pintu adalah lapisan pengamanan utama, penggunaannya saat ini dinilai kurang efektif. Pemilik rumah sering kali harus repot mencari kunci setiap kali akan membuka atau mengunci pintu, menjadikan solusi konvensional ini kurang efisien dan membuang waktu. Oleh karena itu, diperlukan perangkat atau sistem keamanan yang mempermudah akses bagi pemilik rumah, namun tetap menjaga keamanan dari upaya pihak yang tidak bertanggung jawab. Menanggapi kebutuhan ini, peneliti memilih teknologi berbasis mikrokontroler dengan memanfaatkan perangkat ESP32-CAM. Mikrokontroler didefinisikan sebagai sistem mikroprosesor lengkap yang terintegrasi dalam sebuah *chip*. Secara harfiah, komponen ini bertindak sebagai pengendali utama sebuah sistem elektronik, yang sebelumnya mengandalkan banyak komponen pendukung (seperti IC TTL dan CMOS), kini dapat direduksi, dipusatkan, dan dikendalikan oleh mikrokontroler [2]. Penggunaan mikrokontroler kian populer karena kemampuannya yang signifikan dalam menekan dimensi dan biaya produksi suatu desain atau produk. Dalam perancangan sistem ini, penulis mengintegrasikan modul ESP32-CAM yang berfungsi ganda sebagai mikrokontroler dan alat pengenalan wajah. Modul ini dilengkapi dengan sensor kamera OV2640 yang mampu mengambil citra dan melakukan

identifikasi wajah. Sistem otomatisasi pembuka kunci pintu berbasis pengenalan wajah (*face recognition*) ini bertujuan untuk meningkatkan keamanan rumah. Dengan adanya fitur ini, akses pintu akan terbatas hanya pada orang yang terdaftar, sehingga tidak semua orang dapat memasukinya. Perlu diketahui bahwa kamera merupakan perangkat esensial dalam metode pengenalan wajah, berfungsi sebagai alat menangkap citra wajah [3]. ESP32-CAM sendiri adalah pengembangan canggih dari modul kamera terdahulu, yang telah dilengkapi cip ESP32 dengan konektivitas ganda yaitu WiFi dan Bluetooth.

Sementara itu, Arduino Uno merupakan jenis papan (*board*) mikrokontroler berukuran sebesar kartu kredit, yang dilengkapi sejumlah pin untuk berkomunikasi dengan perangkat keras lainnya. Arduino dikenal sebagai mikrokontroler serbaguna yang mudah diprogram [4]. Untuk memahami pemanfaatan Arduino, penting untuk terlebih dahulu memahami konsep *physical computing*. *Physical computing* didefinisikan sebagai penciptaan sistem fisik yang interaktif—mampu menerima stimulus dari lingkungan dan memberikan respons—melalui perpaduan software dan hardware. Konsep ini menjembatani hubungan yang manusiawi antara lingkungan analog dengan dunia digital. Secara praktis, konsep ini diaplikasikan dalam perancangan perangkat atau proyek yang memanfaatkan sensor untuk menerjemahkan input analog ke dalam sistem software guna mengontrol gerakan alat-alat elektro-mekanik [5].

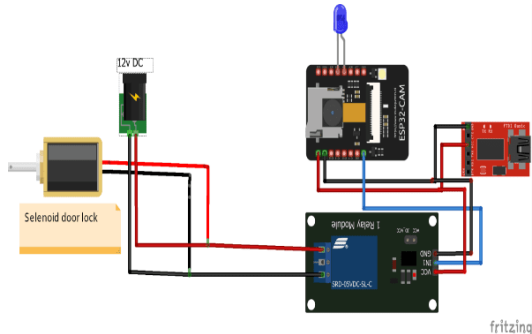
II. METODE PENELITIAN

Gambaran Umum

Pada umumnya rancangan alat ini adalah untuk menciptakan alat keamanan pada rumah dengan memanfaatkan mikrokontroler esp32cam, alat ini akan mendeteksi wajah si pemilik rumah yang akan memasuki pintu rumah tersebut, wajah pemilik rumah sebelumnya



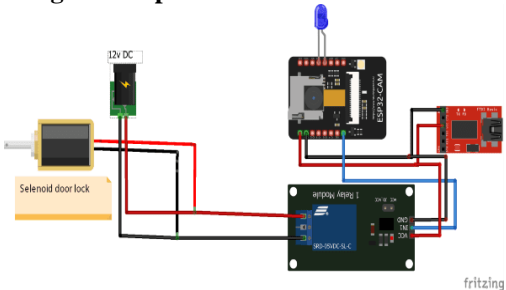
telah didaftarkan menggunakan mikrokontroler esp 32 cam dan wajah tersebut tersimpan dalam memory esp32cam tersebut, sehingga nantinya mikrokontroler esp32cam akan membaca wajah yang sudah terdaftar pada memory esp32cam tersebut, jika wajah terdaftar maka pintu akan terbuka, tetapi jika wajah tidak terdaftar atau tidak ada pada memory esp32cam maka pintu tidak akan terbuka.



Gambar 1. Rangkaian seluruh alat

3. Ketika wajah yang terdeteksi oleh *camera OV2640* dan telah diproses oleh *mikrokontroler esp32cam* dan terdaftar pada memori *esp32cam* maka *solenoid door lock* akan terbuka dan lampu led hijau akan menyala, tetapi jika wajah tidak terdaftar maka led merah akan menyala dan *solenoid door lock* tidak akan terbuka. Dan *esp32cam* hanya membaca 1 orang jika lebih pintu tidak akan terbuka.

Rancangan Komponen Fisik

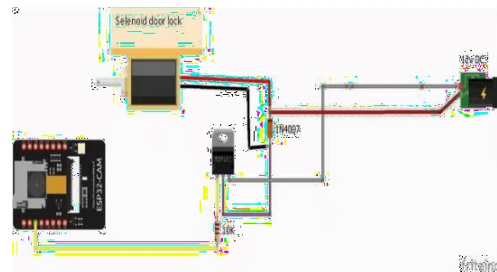


Gambar 3. Rangkaian Komponen Lengkap

Urutan Prosedur Penelitian

1. Identifikasi Masalah: Menganalisis kelemahan kunci konvensional dan kebutuhan sistem keamanan yang lebih efisien.
2. Studi Literatur: Mengumpulkan referensi terkait penggunaan mikrokontroler ESP32-CAM dan teknologi *face recognition*.
3. Perancangan Sistem (Hardware & Software):
 - Hardware: Mengintegrasikan ESP32-CAM dengan kamera OV2640, *solenoid door lock*, relay, dan lampu indikator LED.
 - Software: Pemrograman menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++ dan antarmuka *web browser* untuk registrasi wajah.
4. Pengambilan Sampel Wajah: Melakukan registrasi wajah pemilik rumah melalui *web browser* yang terhubung ke alamat IP ESP32-CAM untuk disimpan dalam memori sistem.
5. Pengujian Sistem: Melakukan uji coba pendeteksian wajah pada berbagai jarak (15-45 cm) dan validasi respons *solenoid door lock*.
6. Analisis Data & Kesimpulan: Mengevaluasi tingkat keberhasilan alat dalam mengenali wajah terdaftar vs wajah asing (*intruder*).

Rangkaian ESP32-CAM Solenoid doorlock



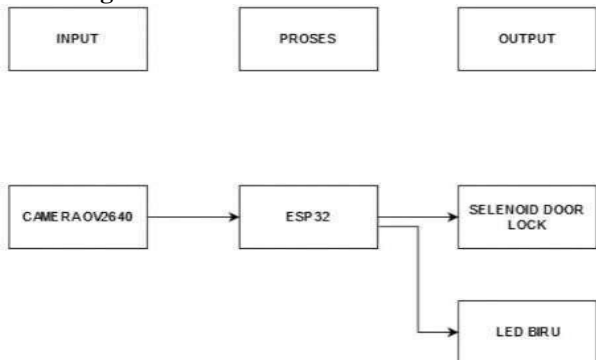
Gambar 4. Rangkaian Solenoid door lock

Pada rangkaian Gambar 4 solenoid door lock dihubungkan ke *mikrokontroler esp32cam* berfungsi untuk membuka pintu menggunakan wajah yang sudah terdaftar pada *esp32-cam* dan mengunci pintu ketika *esp32-cam* tidak mendeteksi wajah. Berikut ini adalah table konfigurasi pin antara *solenoid door lock* dengan *esp32-cam*.

Tabel 1. Konfigurasi pin esp32-cam dengan solenoid door lock

ESP32-Cam	Solenoid door lock	Keterangan
GPIO13	+	Power tegangan 12V
GND	GND	Ground tegangan

Blok Diagram



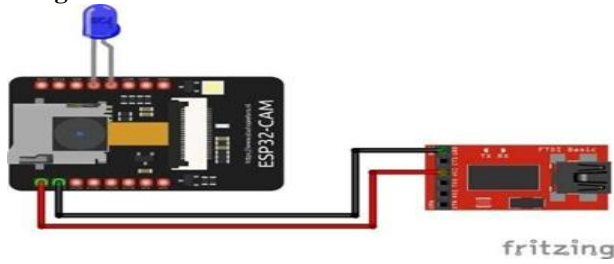
Gambar 2. Blok Diagram

Berikut adalah keterangan dari blok diagram dibawah:

1. *Camera OV2640* membaca atau mendeteksi wajah.
2. *Mikrokontroler ESP32* memproses hasil deteksi dari *camera OV2640*.



Rangkaian Led Biru



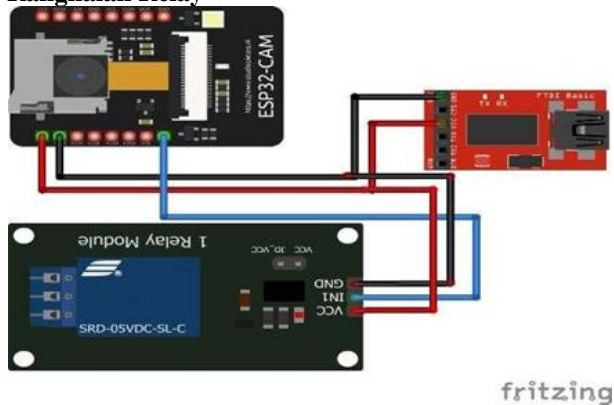
Gambar 5. Rangkaian Led Biru

Pada Gambar 5 rangkaian ini menghubungkan led warna biru dengan mikrokontroler esp32-cam, fungsi dari led biru ini yaitu untuk indikator ketika mikrokontroler esp32 mendeteksi wajah yang sudah terdaftar. Berikut table konfigurasi pin antara esp32-cam dengan led biru.

Tabel 2. Konfigurasi pin antara esp3-cam dengan led biru

ESP32-Cam	LED Biru	Keterangan
GPIO13	+	Power tegangan
GND	-	Ground tegangan

Rangkaian Relay



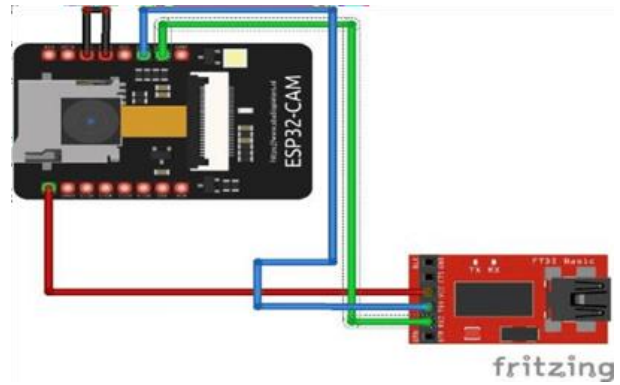
Gambar 6. Rangkaian Relay

Rangkaian Gambar 3.6 ini Relay berfungsi menerima output membuka solenoid lock dari esp32cam, ketika esp32cam memberi perintah kepada relay maka relay akan menyala dan solenoid lock akan terbuka. Berikut table konfigurasi pin antara esp32-cam dengan relay dan ftdi.

Tabel 3. Konfigurasi pin antara esp32-cam dengan relay dan ftdi

Esp	Relay	Ftdi	Keterangan
Vcc	Vcc	Vcc	Power
104	in	-	data
Gnd	Gnd	Ground	Ground

ESP32-CAM dengan FTDI USB programmer



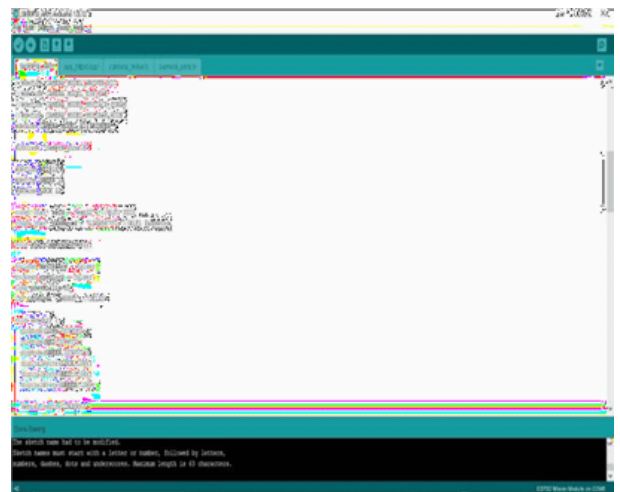
Gambar 7. Rangkaian Relay

Pada rangkaian Gambar 7 memperlihatkan ketika mikrokontroler esp32-cam dimasukan program dari software arduino IDE menggunakan usb FTDI sebagai alat bantu koneksi antara mikrokontroler esp32-cam dengan computer serialport. Berikut table konfigurasi antara pin ESP32-cam dengan usb ftdi:

Tabel 4. Konfigurasi esp32cam dengan usb ftdi

ESP32-CAM	FTDI
GPIO13	+
GND	-

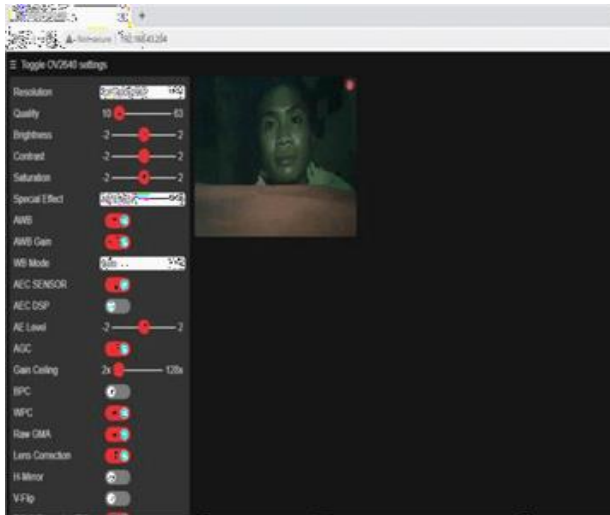
Perancangan Program Arduino



Gambar 8. Program Arduino

Pada gambar di atas arduino di program menggunakan bahasa c++ dengan menggunakan aplikasi arduino ide, untuk bisa memasukan program ke dalam mikrokontroler esp32-cam.

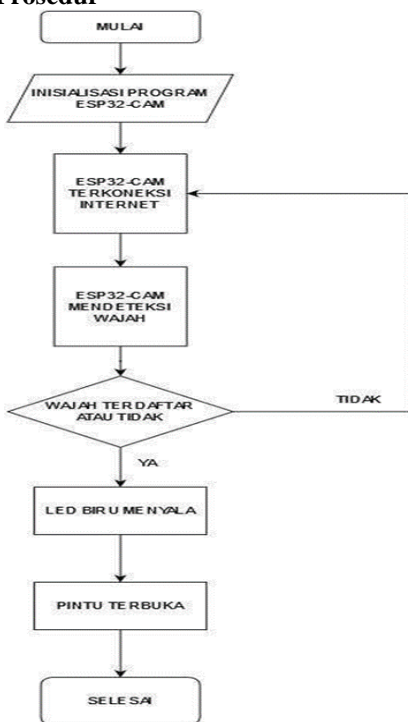
Proses pengambilan sampel wajah



Gambar 9. Perancangan Program VB .Net

Pada gambar diatas adalah menunjukan proses penyetan module mikrokontroler esp32- cam dan pengambilan sampel wajah untuk disimpan pada mikrokontroler esp32-cam, pada proses pengambilan sampel wajah ini menggunakan camera yang sudah ada pada mikrokontroler esp32 dan menggunakan browser yang mengarah ke ip yang diberikan oleh mikrokontroler esp32.

Uraian Prosedur



Gambar 10. Flowchart

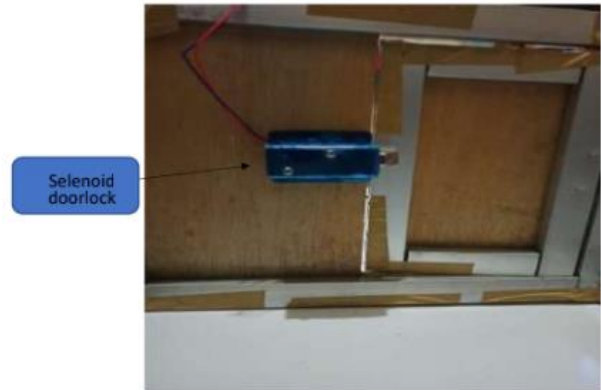
Flowchart ini menjelaskan cara kerja antara mikrokontroler esp32-cam dengan solenoid door lock, ketika mikrokontroler yang sudah di masukan program dan sudah terkoneksi dengan wifi, maka mikrokontroler akan bekerja mendeteksi wajah seseorang yang berada di depan alat tersebut.

Ketika wajah yang sebelum nya sudah di daftarkan ke esp32-cam dan terdeteksi oleh alat maka solenoid door lock akan terbuka dan led hijau akan menyala sebagai tanda wajah tersebut terdaftar dan orang itu diizinkan untuk masuk kedalam rumah, tetapi ketika esp32-cam mendeteksi wajah yang tidak terdaftar maka solenoid door lock tidak akan terbuka dan led merah akan menyala.

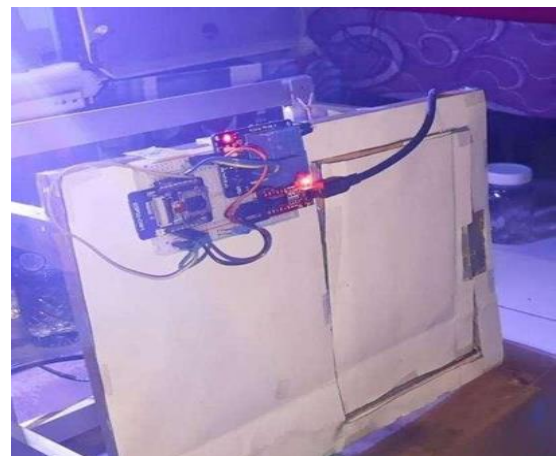
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Hardware

Hasil perancangan hardware atau prototype alat dapat dilihat pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Rancangan tampak dari dalam



Gambar 12. Rancangan tampak dari luar

Pada rangkaian tampak depan terdapat beberapa sensor yang telah di sambungkan dengan esp32cam dengan FTDI.

Detail alat yang terhubung dengan ESP32CAM yaitu:

1. Esp32cam, berfungsi sebagai mikrokontroler untuk membaca dan memproses identifikasi wajah yang diterima oleh kamera ov2640
2. Camera OV2640 Berfungsi untuk menampilkan dan mengirimkan untuk di proses oleh esp32
3. Relay sebagai memberikan output kepada Solenoid doorlock
4. Ftdi berfungsi untuk memberikan power kepada esp32cam
5. Solenoid door lock berfungsi untuk membuka kunci pintu ketika wajah terdeteksi
6. Led biru berfungsi dan akan menyala ketika mendeteksi wajah yang sudah terdaftar



Hasil Pengujian Alat

Pengujian Ini dilakukan dengan cara pengujian setiap komponen yang di hubungkan dengan Esp32cam. Adapun pengujian yang di lakukan pada perancangan yang di buat terdapat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil pengujian alat

No	Pengujian Input	Skenario Pengujian	Output	Keterangannya
1	Pengujian Esp32	Dapat membaca dan memproses identifikasi wajah dengan baik	Esp32 berhasil membaca dan memproses identifikasi wajah	Valid
2	Pengujian Ftdi	Dapat memberika tegangan kepada Esp32cam	Ftdi berhasil memberi tegangan kepada Esp32cam	Valid
3	Pengujian Relay	Memberikan output kepada selenoid dorlock	Relay berhasil memberikan output kepada selenoid	Valid
4	Camera OV2640	Dapat menampilkan dan mengirim untuk di proses oleh Esp32	Camera OV2640 berhasil menampilkan dan mengirim untuk di proses oleh Esp32	Valid
5	Pengujian Selenoid doorlock	Dapat membuka dan menutup pintu	Selenoid doorlock berhasil membuka dan menutup	Valid
6	Pengujian Led Biru	Led biru dapat menyala ketika mendeteksi wajah yang sudah terdaftar	Led biru berhasil menyala ketika mendeteksi wajah yang sudah terdaftar	Valid

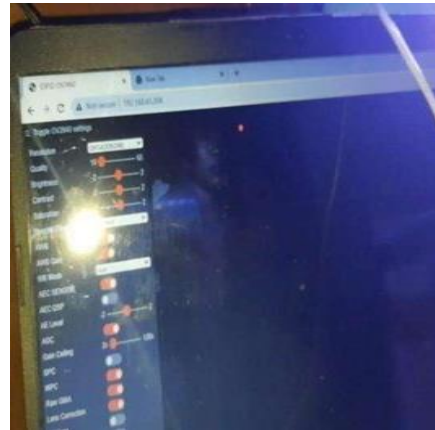
Pengujian ESP32-CAM

Pada tahap ini dilakukan untuk menguji esp32cam sebagai membaca dan memproses identifikasi wajah yang sudah terdaftar.

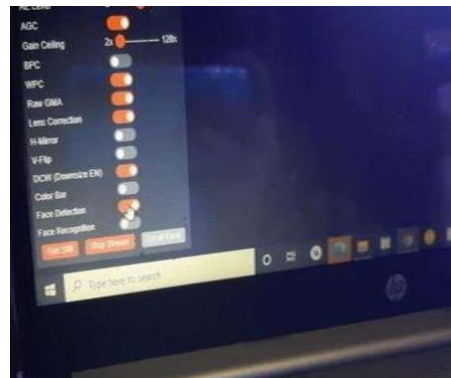
Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian Ftdi,

berikut langkah-langkah yang di lakukan:

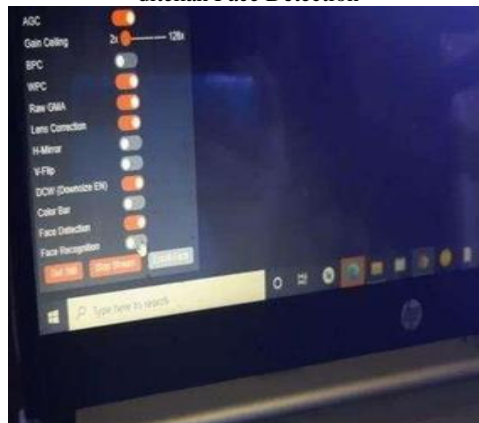
1. Menghubungkan esp32 dengan wifi atau hotspot
2. Memasukan ip esp32 pada browser
3. Memprogram eps 32 di software arduino IDE



Gambar 13. Tampilan ESP32CAM terhubung dengan wifi



Gambar 14. Tampilan proses mendeteksi wajah dengan ditekan Face Detection



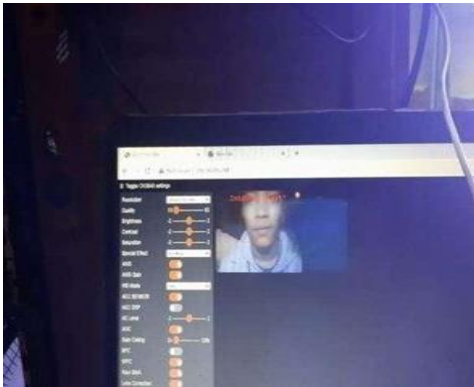
Gambar 15. Tampilan proses merekam wajah dengan menekan Face Recognition



Gambar 16. Tampilan wajah yang sudah terdaftar



Hasil dari pengujian dapat disimpulkan bahwa esp32cam dapat membaca dan mengidentifikasi wajah yang terdaftar dengan notifikasi berwarna hijau dengan tulisan “hello Subject” yang ditampilkan pada layar terlihat pada Gambar 16.



Gambar 17. Tampilan wajah yang tidak terdaftar

Pada Gambar 17 diatas sudah terdeteksi oleh ESP32CAM bahwa wajah yang tidak terdaftar terdapat notifikasi berwarna merah dengan tulisan “intruder alert”, maka pengujian ESP32CAM kali ini berhasil.

Tabel 6. Hasil pengujian ESP32Cam

Module	Skenario Pengujian	Hasil Yang Di Harapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
ESP32 Cam	Merekam wajah yang akan didaftarkan dan menyimpan hasil wajah yang terdaftar	Berhasil merekam wajah yang terdaftar dan data tersimpan	Sesuai	Valid

Pengujian FTDI (FT232RL)

Pada tahap ini yang dilakukan untuk menguji FTDI sebagai penghantar tegangan terhadap esp32cam. Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian Ftdi, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

1. Menghubungkan modul Ftdi pada esp32cam
2. Memprogram Ftdi pada arduino IDE

Hasil dari pengujian dapat disimpulkan bahwa FTDI mampu menghantarkan tegangan terhadap ESP32CAM.

Pengujian Relay

Pada tahap pengujian ini dilakukan untuk untuk menguji cara kerja relay untuk memberikan perintah untuk membuka solenoid doorlock. Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian Relay, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

1. Menghubungkan Modul relay pada solenoid lock
2. Memprogram relay pada software arduino IDE

Hasil dari pengujian dapat disimpulkan bahwa relay dapat memberikan perintah pada solenoid loc dan dapat terbuka secara otomatis ketika wajah yang sudah terdaftar, berikut tabel hasil pengujian:

Tabel 7. Hasil pengujian Relay

Module	Skenario Pengujian	Hasil Yang Di Harapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
Relay	Memberikan perintah kepada solenoid door lock untuk aktif dan tidak aktifnya	Berhasil memberikan perintah kepada solenoid	Sesuai	Valid

Pengujian Camera Ov2640

Pada pengujian tahap in dilakukan terhadap Camera Ov2640 sebagai menampilkan dan mengirim gambar untuk diproses kepada ESP32. Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian Camera ov2640, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

1. Menghubungkan ESP32 dengan web browser menggunakan ip
2. Memprogram ESP 32 Cam menggunakan software Arduino IDE untuk merekam wajah menggunakan kamera

Pengujian dilakukan dengan cara merekam wajah menggunakan kamera OV2640, ketika wajah sudah terdaftar maka di kamera web browser akan menampilkan notifikasi tulisan berwarna hijau. Dan jika wajah tidak terdaftar maka akan menampilkan notifikasi berwarna merah.



Gambar 18. Hasil dari kamera dari jarak 10-30cm

Pada Gambar 18, jarak sekitar 10-30 cm maka camera mampu membaca wajah yang sudah terdaftar dengan hasil notifikasi berwarna hijau



Gambar 19. Hasil dari kamera dari jarak 45 cm



Kamera tidak mampu membaca wajah dari jarak 35-45 cm disebabkan minimnya cahaya terlihat pada Gambar 19. Hasil dari pengujian dapat disimpulkan bahwa Camera Ov2640 dapat berfungsi dengan baik, mampu menampilkan dan mengirim gambar kepada ESP32.

Tabel 8. Hasil pengujian Relay

No	Jarak Wajah	Keterangan / Tampilan Camera	
		Terdeteksi	Hasil
1	15 cm	Menampilkan jelas	Valid
2	20 cm	Menampilkan jelas	Valid
3	25 cm	Menampilkan jelas	Valid
4	30 cm	Menampilkan jelas	Valid
5	35 cm	Tidak Menampilkan jelas	Tidak Valid
6	40 cm	Tidak Menampilkan jelas	Tidak Valid
7	45 cm	Tidak Terdeteksi	Tidak Valid

Formula Identifikasi Jarak Efektif

Meskipun penelitian ini bersifat eksperimental hardware, keberhasilan identifikasi (*S*) secara teknis dipengaruhi oleh variabel jarak (*d*) dan intensitas cahaya (*L*). Berdasarkan hasil pengujian, fungsi keberhasilan sistem dapat dinyatakan secara sederhana sebagai:

$$S = \begin{cases} \text{Berhasil (Valid),} & \text{jika } 15\text{cm} \leq d \leq 30 \text{ cm dan } L \text{ cukup} \\ \text{Gagal (Tidak Valid),} & \text{jika } d > 30 \text{ cm atau } L \text{ minim} \end{cases}$$

Keterangan:

- *S*: Status output sistem (1 = Pintu Terbuka, 0 = Pintu Terkunci).
- *d*: Jarak (*distance*) antara wajah dengan modul ESP32-CAM.
- *L*: Intensitas cahaya (*light intensity*) pada area pemindaian.

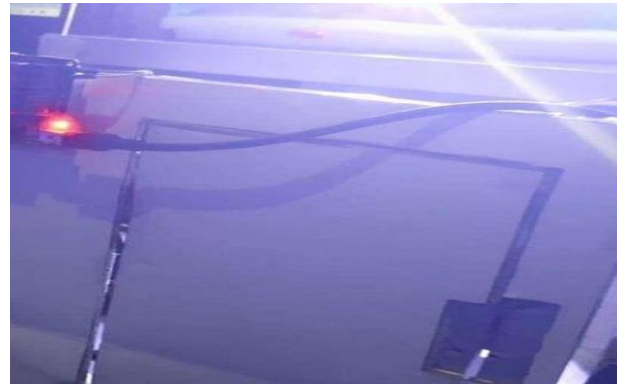
Berdasarkan formula di atas, sistem mencapai titik optimal pada rentang jarak 15 cm hingga 30 cm. Jika objek berada terlalu dekat ($d < 15$ cm), kamera akan mengalami kesulitan dalam menangkap seluruh fitur wajah (*blur/out of focus*). Sebaliknya, jika objek terlalu jauh ($d > 30$ cm), kepadatan pixel wajah tidak mencukupi bagi algoritma ESP32-CAM untuk melakukan pencocokan (*matching*) dengan data yang tersimpan di memori. Selain itu, variabel *L* (cahaya) menjadi syarat mutlak, di mana pencahayaan yang minim akan menghasilkan *noise* pada citra yang memicu kegagalan sistem meskipun jarak sudah terpenuhi.

Pengujian Selenoid door lock

Pada pengujian tahap ini dilakukan terhadap selenoid door lock sebagai membuka dan menutup pintu. Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian Selenoid door lock, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

1. Menghubungkan modul selenoid door lock pada esp32cam
2. Menghubungkan modul selenoid dorlock dengan pin digital esp32cam
3. Memprogram selenoid dorlock menggunakan software Arduino IDE

Pengujian kali ini dilakukan dengan cara terdaftar atau tidaknya wajah yang akan ditampilkan oleh kamera, ketika wajah yang sudah terdaftar maka selenoid door lock akan terbuka , begitu juga sebaliknya.



Gambar 20. Pintu tidak terbuka



Gambar 21. Pintu terbuka

Hasil dari pengujian dapat disimpulkan bahwa selenoid door lock dapat berfungsi dengan baik mampu membuka dan menutup pintu terlihat pada Gambar 21.

Tabel 9. Hasil Pengujian Selenoid Doorlock

Module	Skenario Pengujian	Hasil Yang Di Harapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
Selenoid Dorlock	Menerima data dari ESP32Cam wajah yang terdaftar dan terbuka	Berhasil terbuka ketika wajah yang terdaftar	Sesuai	Valid
Selenoid Dorlock	Menerima data dari ESP32Cam wajah yang tidak terdaftar dan tidak terbuka	Berhasil tidak terbuka ketika wajah yang tidak terdaftar	Sesuai	Valid

Pengujian Led Biru

Pada pengujian tahap ini dilakukan untuk menguji Led biru untuk memberikan sinyal terhadap kamera, ketika wajah yang sudah terdaftar dan sudah terdeteksi oleh camera maka led biru akan menyala. Ada beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan saat pengujian led biru, berikut langkah-langkah yang dilakukan:

1. Menghubungkan modul led biru ke pin esp32 cam
2. Memprogram selenoid loc pada software arduino IDE



Pengujian di lakukan dengan cara memberikan tegangan 5V dari esp32cam dan ketika esp32cam menyala sebagai indikator yang menandakan bahwa indikator telah hidup dan ada tegangan daya.



Gambar 22. LED Biru

Hasil dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa led biru ini berfungsi dengan baik dan dapat menyala ketika wajah yang sudah terdaftar oleh kamera yang sudah diprogram terlihat pada Gambar 22.

Tabel 8. Hasil Pengujian LED biru

Module	Skenario Pengujian	Hasil Yang Di Harapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
LED Biru	Menerima data dari ESP32Cam ketika wajah terdaftar LED Biru akan menyala	Berhasil menyala menandakan wajah terdaftar	Sesuai	Valid
LED Biru	Menerima data dari ESP32Cam ketika wajah tidak terdaftar LED Biru tidak akan menyala	Berhasil tidak menyala menandakan bahwa wajah tidak terdaftar	Sesuai	Valid

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dalam bidang sistem keamanan berbasis biometrik dan *Internet of Things* (IoT). Secara teoritis, penelitian ini membuktikan efisiensi penggunaan mikrokontroler berbiaya rendah, yaitu ESP32-CAM, yang mampu mengintegrasikan fungsi pengolahan citra (*image processing*) dan kendali perangkat keras secara simultan tanpa memerlukan server eksternal yang kompleks. Kontribusi praktis lainnya terletak pada penetapan parameter empiris mengenai jarak deteksi optimal (15-30 cm) dan pengaruh intensitas cahaya terhadap akurasi pengenalan wajah pada sensor OV2640. Temuan ini menjadi referensi penting bagi pengembangan sistem keamanan rumah pintar (*smart home*) di masa depan, khususnya dalam mengoptimalkan interaksi antara data biometrik waktu-nyata dengan respons mekanis *solenoid door lock*. Selain itu, penelitian ini mendemonstrasikan metode registrasi wajah melalui antarmuka *web browser* berbasis alamat IP lokal sebagai solusi manajemen data pengguna yang efisien, aman, dan

aplikatif untuk diimplementasikan pada skala rumah tangga maupun industri kecil.

Rancang bangun alat pembuka pintu otomatis berbasis pendeteksi wajah ini telah berhasil diwujudkan dengan menggunakan ESP32-Cam sebagai mikrokontroler, kamera OV2640 sebagai media pendeteksi sekaligus perekam wajah, serta solenoid doorlock sebagai mekanisme pembuka pintu. Hasil pendeteksian wajah yang dilakukan oleh kamera dapat ditampilkan melalui web browser, dan berdasarkan pengujian yang dilakukan pada Bab IV, alat ini mampu bekerja dengan baik sesuai tujuan penelitian. Dari tujuh kali pengujian dengan variasi jarak 15–35 cm dan tingkat kejelasan wajah yang berbeda, sistem tetap menunjukkan performa yang cukup baik.

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan dan ruang pengembangan, baik dari sisi penggunaan maupun sistem kerja alat. Oleh karena itu, beberapa saran yang dapat diberikan adalah meningkatkan kemampuan kamera dalam membaca wajah pada jarak yang lebih jauh, meningkatkan akurasi sistem dalam mengenali wajah, serta menambahkan bentuk notifikasi lain selain LED biru agar alat ini dapat memberikan informasi yang lebih lengkap apabila terjadi suatu kondisi tertentu. Dengan pengembangan lebih lanjut, diharapkan perangkat ini dapat menjadi sistem keamanan yang lebih andal dan efisien.

REFERENSI

- [1] E. Efrizon, H. Herizon, and W. R. Dinata, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Pintu Garasi Otomatis Dengan Indikator RFID Dan Alarm Berbasis Mikrokontroler," *Elektron J. Ilm.*, vol. 9, no. 2, pp. 19–24, 2017, doi: 10.30630/eji.9.2.91.
- [2] R. Toyib and C. Saputra, "Prototype Robot Lengan Dengan Kontrol Jarak Jauh Menggunakan Bluetooth HC-05 dan Kamera," *Pseudocode*, vol. 8, no. 1, pp. 11–20, 2021, doi: 10.33369/pseudocode.8.1.11-20.
- [3] C. Baretina, R. Listiana, and ..., "Rancang Bangun Sistem Smart Door Lock Menggunakan Deteksi Wajah," *J. Informatics ...*, no. 2007, pp. 42–48, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.poltekdedc.ac.id/index.php/jiee/article/view/534%0Ahttp://ejournal.poltekdedc.ac.id/index.php/jiee/article/download/534/395>
- [4] D. Bachaki, "Sistem Keamanan Pengendali Pintu Otomatis Berbasis Radio Frequency Identification (RFID) Dengan Arduino Uno R3," *J. Sisfotek Glob.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–41, 2017.
- [5] J. H. Lontoh, D. J. Mamahit, N. M. Tulung, and J. T. Elektro-ft, "Rancang Bangun Kunci Pintu Elektronik Menggunakan Bluetooth Berbasis Android," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 6, no. 3, pp. 97–104, 2017, doi: 10.35793/jtek.6.3.2017.18067.
- [6] J. Teknologi *et al.*, "Pengganaan Bluetooth Android Berbasis Arduino Uno Dalam Mengendalikan Lampu Rumah Abstrak," vol. 7, no. 1, pp. 134–145, 2021.
- [7] S. Sutarti, S. Samsuni, and I. Asseghaf, "Sistem Keamanan Rumah melalui Pengenalan Wajah Menggunakan Webcam dan Library Opencv Berbasis Raspberry Pi," *J. Din. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 13–26, 2019, [Online]. Available: <https://jdi.upy.ac.id/index.php/jdi/article/view/37>

